



(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

(12) Offenlegungsschrift  
(10) DE 41 23 125 A 1

(51) Int. Cl. 5:  
B 01 D 63/00

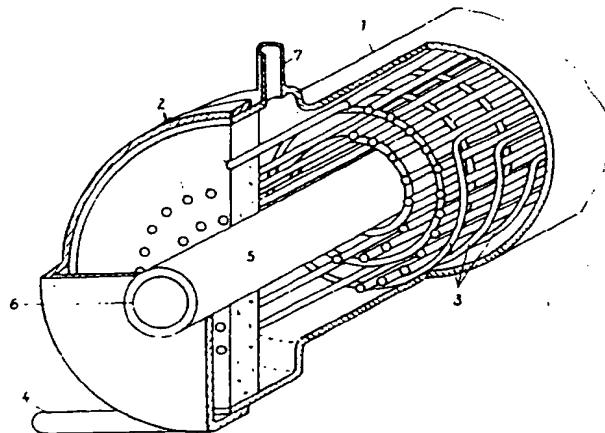
(71) Anmelder:  
Technische Universität Dresden, D-8027 Dresden,  
DE

(72) Erfinder:  
Tietze, Rainer, Dr.sc.techn., D-8021 Dresden, DE;  
Angierski, Bernd-Rüdiger, Dr.-Ing., D-8019 Dresden,  
DE

DE 41 23 125 A 1

(54) Membranmodul

(57) Die Erfindung betrifft einen Membranmodul, der als Membran-Bioreaktor, als Reaktor für chemische Umsetzungen und als Stofftrennapparat vorteilhaft anwendbar ist. Die erfundungsgemäße Aufgabe wird dadurch gelöst, daß wenigstens eine Bahn eines gewickelten Membranmoduls einem überwiegend axial und wenigstens eine zweite Bahn einem überwiegend entlang der Wicklung durchströmten bzw. umströmten Membransystem mit voneinander getrennten Anschlüssen angehört und wenigstens eine Bahn aus etwa U-förmig verlaufenden Kapillaren gebildet ist. Durch Kombination der verschiedenen Systeme können mehrere Komponenten zu- und abgeführt und diese Komponenten nahezu über die gesamte Reaktionszone in Kontakt gebracht werden. Es entstehen günstige Bedingungen für eine gleichmäßige Durchströmung und intensiven Stoffaustausch. Dieser ergibt sich aus einer Vielzahl von Kreuzungspunkten der Versorgungs- und Entsorgungsströme innerhalb der Reaktionszone. Es werden biochemische Umsetzungen ermöglicht, bei denen die örtliche Versorgung der aktiven Biomasse, z. B. mit Substrat, Spurenstoffen, Sauerstoff, einerseits und die Entsorgung von Metaboliten andererseits über mehr als zwei separate, durch Membranen kontrollierte Transportwege frei steuerbar ist.



DE 41 23 125 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Membranmodul, der als Membran-Bioreaktor, als Reaktor für chemische Umsetzungen und als Stofftrennapparat vorteilhaft anwendbar ist.

Bei bekannten einfachen Membranmodulen ist in einem Gehäuse ein Kapillarmembransystem, bestehend aus einem Bündel von Kapillarmembranen mit je einem gemeinsamen Anschluß am Bündelanfang und -ende, untergebracht. Das Gehäuse selbst hat Anschlüsse zum Gehäuseinnenraum. Die Anschlüsse erlauben die getrennte Beschickung bzw. Durchströmung der Kapillarmembraninnenseiten und des Raumes zwischen dem Gehäuse und dem Kapillarmembranbündel. Zwischen den beiden Kompartimenten erfolgt der konvektive oder diffusive Stofftransport stets durch die Membran. Solche Kapillarmembranmodule werden oft durch synonyme Begriffe wie Hohlfasermodul, Hohlfaserdialysator, Schlauchmembranmodul, Rohrmodul oder Kapillarmembranreaktor bezeichnet. Das Wort Kapillarmembranmodul steht dabei an sich für Module mit röhrenförmigen Membranen kleinsten Durchmessers, die einen geringeren Durchsatz und größeren Trenn- bzw. Umsetzungseffekt aufweisen. Es soll auch im folgenden gebraucht werden und all die anderen röhrenförmigen Module, wie z. B. Schlauchmodule mit größeren Durchsätzen und geringeren Trenn- bzw. Umsetzungseffekt, umfassen.

Bei der Verwendung als Membran-Bioreaktor bzw. als Membran-Enzym-Reaktor enthält eines der Kompartimente als Reaktionszone eine Suspension bzw. Lösung biologisch aktiven Materials, also Mikroorganismen, Enzyme oder lebende Zellen. Das andere Kompartiment führt eine weitere für die biochemische Reaktion erforderliche Komponente zu und verteilt sie über das Reaktorvolumen oder entfernt die Metaboliten unter membrankontrollierten Bedingungen. Die Reaktionsgeschwindigkeit und die Produkttausbeute erreichen hier im Vergleich zu klassischen Fermentoren bereits höhere Werte, weil die Versorgung bzw. Entsorgung der Biomasse durch den Membrantransport für einen Teil der beteiligten Stoffe und Schritte unter Beachtung einschränkender Wechselwirkungen im Gesamtsystem optimiert werden kann.

Für die Steuerung zahlreicher biochemischer Reaktionen ist die gleichzeitige und unabhängige Einflußnahme auf mehrere Parameter, z. B. die Versorgung mit Substrat und Sauerstoff, die Entsorgung bestimmter Metaboliten und die Regelung des pH-Wertes erwünscht. Diese Steuerung soll möglichst in der gesamten Reaktorzone erfolgen können. Derart vielfältigen Ansprüchen genügen diese o. g. Kapillarmembranmodule nicht.

Das trifft auch auf gewickelte Flachmembranmodule zu. In DE-OS 30 33 800 sind Membranschichtkörper und zwischengelegte poröse Träger auf einen Kern gewickelt. Brackwasser oder ähnliche Fluide durchströmen den Wickel axial. Das durch die aktiven Membranen diffundierende Produktwasser fließt spiralförmig entlang des Wickels zum Kern und wird von dort abgezogen.

Es sind deshalb auch Membranmodule entwickelt worden, die zwei Membransysteme enthalten. In diesen Modulen sind Röhrenmembranen axial in einem Gehäuse angeordnet und stirnseitig in inneren Aufnahmeföden eingebettet. In jede dieser Röhrenmembranen sind eine oder mehrere Kapillarmembranen eingelegt. Sie

sind länger als die Röhrenmembranen und münden in äußere stirnseitige Aufnahmeföden, die gemeinsam mit den inneren Aufnahmeföden und Abschnitten des Gehäusemantels auf jeder Seite des Gehäuses eine separate Kammer bilden. Infolge dieser Anordnung sind drei von Membranen begrenzte Kompartimente vorhanden, die über Anschlüsse separat durchströmt werden können. Das erste Kompartiment ist der Raum zwischen dem Gehäuse und den Röhrenmembranen. Das zweite Kompartiment – die Reaktionszone – befindet sich zwischen den Röhren- und den Kapillarmembranen. Das dritte Kompartiment wird von den Kapillarinnenräumen gebildet.

Durch die Anordnung ist es möglich, der Reaktionszone gleichzeitig und unabhängig zwei membrankontrollierte Stoffaustauschprozesse aufzuprägen. Infolge der gewählten Konstruktion werden an den Membranen allerorts konstante Bedingungen für diesen Stoffaustausch herbeigeführt, die oft als vorteilhaft für die Effektivität der biochemischen Reaktion angesehen werden.

Als Stofftrennapparate separieren die Membranmodule beispielsweise eine Komponente aus einem die Reaktionszone durchfließenden Stoffstrom. Zwangsläufig kommt es dabei in Membrannähe zur Verarmung an membrangängigen und zur Anreicherung an nichtmembrangängigen Stoffen. Beide Effekte sind nachteilig, denn sie mindern die Leistungsfähigkeit der Module im Stofftrennprozeß. Sie wirken sich auch auf die biochemische Reaktion hemmend aus.

Nachteilig für eine effektive Stofftrennung und einen hohen Umsatz ist es außerdem, wenn die Kompartimente ungleichmäßig beaufschlagt werden, wenn Teilströme gegenüber dem Mittelwert vorausileilen oder nachschleppen.

Membranmodule, in denen alle Kompartimente parallel in Form einer ungestörten Kapillarströmung durchflossen werden, sind mit beiden Nachteilen meist in besonderem Maße behaftet.

Zahlreiche Ausführungsformen einfacher Membranmodule weisen deshalb Konstruktionselemente im Außenraum des Kapillarmembranbündels auf, die dessen vorteilhafte Durchströmung in axialer und/oder radialer Richtung herbeiführen sollen, selbst jedoch keinen selektiven Stoffaustausch bewirken. Vorteilhafte Durchströmung heißt dabei, daß durch die Gehäuseeinbauten sowie die Bündel- und Anschlußanordnung tote Zonen vermieden und möglichst gleiche Strömungsverhältnisse entlang aller Kapillarmembranen sowie intensiver Stoffaustausch an den Membranoberflächen erreicht werden. Beispiele hierfür sind die in der Klasse B01D 13/00 beschriebenen Membranmodule nach DE-OS 26 46 358, 28 06 222, 28 45 002, 30 48 559 und auch 33 04 353.

Es wurde bereits vorgeschlagen (DD 2 33 946), wenigstens zwei Bahnen mit parallel liegenden Kapillarmembranen schiefwinklig zueinander zu zurren, die Bahnen auf einen Kern aufzuwickeln und die Kapillarmembranen in beide Gehäusestirnseiten einzubinden. Es entsteht ein Kapillarenbündel nach der Art der Kreuzlagenspulen mit guten Durchströmungsverhältnissen im mittleren Gehäusebereich.

Auch die in DD-PS 2 07 607 vorgeschlagene Anordnung einer Leitfolie im Kapillarenbündel, die dessen Umströmung auf einer Spiralbahn bewirkt, soll diese Nachteile einfacher Kapillarmembranmodule mindern.

Bedingt durch die Rohr-in-Rohr-Konstruktion entziehen sich die bekannten Membranmodule mit zwei

Membransystemen einer derartigen Einflußnahme auf das Regime im Reaktionsraum zwischen Röhren- und Kapillarmembran sowie in der Kapillarmembran. Dort herrschen zwangsläufig die Bedingungen der ungestörten Kapillarströmung.

Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung eines Membranmoduls, dessen Reaktionszone gleichzeitig verschiedene Komponenten auf solche Weise zugeführt und entnommen werden können, daß optimale Bedingungen für den angestrebten Prozeß der Umsetzung bzw. der Stofftrennung herrschen.

Erfahrungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß wenigstens eine Bahn eines gewickelten Membranmoduls einem überwiegend axial und wenigstens eine zweite Bahn einem überwiegend entlang der Wicklung durchströmten bzw. umströmten Membransystem mit voneinander getrennten Anschlüssen angehört und wenigstens eine Bahn aus etwa U-förmig verlaufenden Kapillaren gebildet ist.

Mit den in den Ansprüchen genannten und in den Ausführungsbeispielen näher beschriebenen Anordnungen von U- oder schleifenförmig angeordneten Kapillaren bzw. kapillarartigen Kanälen in Flachmembranen mit jeweils getrennten Anschlüssen können mehrere Komponenten zu- und abgeführt und diese Komponenten nahezu über die gesamte Reaktionszone in Kontakt gebracht werden. Es entstehen günstige Bedingungen für eine gleichmäßige Durchströmung und intensiven Stoffaustausch. Am selektiven Stoffaustausch unbeteiligte zusätzliche Konstruktionselemente in der Wickelanordnung sind nicht erforderlich.

Im Gegensatz zu den allerorts konstanten Bedingungen für den membrankontrollierten Stoffaustausch, wie sie bei den bekannten Rohr-in-Rohr-Membransystemen vorliegen, sind die Bedingungen in der Reaktionszone der erfahrungsgemäßen Module durch häufigen Wechsel gekennzeichnet. Dieser ergibt sich aus der herbeigeführten Vielzahl von Kreuzungspunkten der Versorgungs- und Entsorgungsströme innerhalb der Reaktionszone. Es erweist sich, daß oftmals gerade dieser Wechsel von Streß- und Luxusbedingungen zu hoher biologischer Aktivität lebender Biomasse führt.

Es werden biochemische Umsetzungen ermöglicht, bei denen die örtliche Versorgung der aktiven Biomasse, z. B. mit Substrat, Spurenstoffen, Sauerstoff, einerseits und der Entfernung von Metaboliten andererseits über mehr als zwei separate, durch Membranen kontrollierte Transportwege frei steuerbar ist. Durch unterschiedliche Materialeigenschaften der Membranen, wie unterschiedliche hydraulische und diffundive Permeabilität oder differenziertes Adsorptions- und Lösevermögen oder hydrophiles bzw. hydrophobes Verhalten, wird die Optimierung des Gesamtsystems unterstützt.

Auch die Immobilisierung unterschiedlicher biologisch aktiver Substanzen in durch Membranen getrennten Kompartimenten bei gleichzeitiger äußerer Einflußnahme auf die Stoffzusammensetzung im Reaktor kann erfolgen.

In der Anwendung als Stofftrennapparat erlaubt die erfahrungsgemäße Lösung den gleichzeitigen und unabhängigen, membrankontrollierten Stoffaustausch für mehrere Komponenten im gesamten Reaktorvolumen. Dadurch wird jene leistungsmindernde Wechselwirkung reduziert, die bei der Abtrennung nur einer Komponente im Trennmodul auftritt. Örtliche Anreicherungen anderer Komponenten in wenigstens einem weiteren Membransystem stark reduziert. Durch die weitgehend rechtwinklige Kreuzung von Stoffströmen werden

das Vorauseilen und Nachschleppen von Teilströmen gemindert, der Stoffübergang verbessert und Mikrobereiche mit erwünschten hohen Konzentrationsgradienten erzeugt.

Wie in den Ausführungsbeispielen näher dargestellt, können derartige U-förmige Kapillaren, die überwiegend axial oder in Wicklungsrichtung durchströmt werden, auch durch mäanderförmige Strukturen in mit geringem Abstand aneinanderliegenden Flachmembranen erzeugt werden. Insbesondere, wenn die Trennstegi in einer oder beiden benachbarten Membranen durch Sikken vorgeformt werden, lassen sich derartige Flachmembranen rationell herstellen. Eine einfach zu realisierende Fertigung ergibt sich auch durch eine Variante, bei der sich die U-förmigen Kapillaren entlang einer wenigstens einmal gefalteten und danach um ein Zentralrohr gewickelten Bahn erstrecken, wobei in die Bahn axial verlaufende Kapillaren eingearbeitet und die Enden der U-förmigen Kapillaren jeweils einer Stirnseite der Bahn im Zentralrohr zu Anschlüssen zusammengefaßt sind.

Die verschiedenen Kapillar- und Flachmembransysteme lassen sich unter- und miteinander in verschiedener Weise immer wieder so kombinieren, daß eine Vielzahl der gewünschten Kreuzungspunkte im Modul entsteht.

Die Erfindung wird nachstehend an mehreren Ausführungsbeispielen erläutert.

In den Zeichnungen zeigen

Fig. 1 eine erste erfahrungsgemäße Ausführung mit zwei Kapillarmembransystemen,

Fig. 2 die Abwicklung der Membranbahnen gemäß Fig. 1,

Fig. 3 eine schleifenförmige Einbindung U-förmiger Kapillaren in ein Zentralrohr,

Fig. 4 die Abwicklung eines erfahrungsgemäßen Moduls mit zwei am zentralen Verteiler angeschlossenen Kapillarmembransystemen,

Fig. 5 die Abwicklung einer Ausführung mit drei Kapillarmembransystemen,

Fig. 6 die Darstellung einer erfahrungsgemäßen Lösung, bei der ein Kapillarmembransystem und ein aufgewickeltes Flachmembransystem kombiniert sind,

Fig. 7 die Abwicklung zu Fig. 6,

Fig. 8 die Darstellung einer weiteren Lösung mit einem Kapillar- und ein Flachmembransystem.

Fig. 9 ein erfahrungsgemäß ausgebildeter Modul mit zwei in einer gefalteten Bahn eingebundenes Kapillarmembransystemen,

Fig. 10 die Abwicklung eines Flachmembransystems mit mehreren Trennstegen,

Fig. 11 Schnitt A-A gemäß Fig. 8,

Fig. 12 die Abwicklung eines weiteren Flachmembransystems mit mehreren Trennstegen.

Der in den Fig. 1 und 2 dargestellte Membranmodul enthält zwei Kapillarmembransysteme 2 und 3. Das Kapillarmembransystem 2 umfaßt parallel zur Gehäuseachse liegende Kapillarmembranen und deren stirnseitige Anschlüsse 4. Das Kapillarmembransystem 3 besteht aus U-förmigen Kapillarmembranen, die mit beiden Enden in ein Zentralrohr 5 eingebettet sind. Dieses hat Anschlüsse 6 und eine etwa mittig im Zentralrohr 5 angeordnete Trennwand 13 für die separate Beschickung des Kapillarmembransystems 3.

Die Kapillarmembranen beider Systeme verlaufen mit Ausnahme des Randbereiches senkrecht zueinander. Zur Herstellung des Moduls werden die Kapillarmembranen des Membransystems 3 als Bahn auf das

Zentralrohr 5 gewickelt. Dabei werden die Kapillaren des Membransystems 2 mit eingerollt und anschließend, wie üblich, in den Gehäusestirnseiten eingebettet. Die stirnseitigen Anschlüsse 4, Gehäuseanschlüsse 7 und die Verteileranschlüsse 6 sind jeweils doppelt (symmetrisch) vorhanden.

Das Kapillarmembransystem 2 und der Außenraum werden axial, das Kapillarmembransystem 3 wird entlang der Wicklung durchströmt.

**Fig. 3** zeigt die Abwicklung eines Kapillarmembransystems 3, dessen Kapillarmembranen flächenhaft über die Wickelbreite ausgebreitet sind und dabei die Form gestreckter Schleifen haben.

Zum Membransystem 3 gehört das Zentralrohr 5. Es hat zwischen seinen Enden eine Aussparung. Die Kapillarmembranen werden von der Aussparung her in die Rohrenden gesteckt und dort gebündelt. Anschließend werden sie auf das Zentralrohr 5 aufgewickelt. Die Schleifen erstrecken sich überwiegend in Wicklungsrichtung.

In **Fig. 4** sind zwei Ansichten der Abwicklung eines Moduls mit zwei, an ein Zentralrohr 5 mit Längssteg 14 angeschlossenen Kapillarmembransystemen dargestellt. Das Zentralrohr 5 hat für jedes Membransystem 2, 3 gesonderte Anschlüsse 4 und 6. Die Kapillarmembranen des Membransystems 2 verlaufen größtenteils axial, die des Systems 3 entsprechen denen gemäß **Fig. 3**. Ein mit solch einem Wickel ausgerüsteter Modul erfordert keine stirnseitige Einbettung von Kapillaren im Gehäuse.

Der Membranmodul nach **Fig. 5** hat drei Kapillarmembransysteme. Neben dem wie in den **Fig. 1** und **2** Zentralrohr 5 angeschlossenen System 3 sind zwei weitere Membransysteme 2a und 2b vorhanden. Sie bestehen aus U-förmigen Kapillarmembranen, die jeweils mit einem Ende im zentralen und mit dem anderen Ende im peripheren Bereich ein- und derselben Stirnseite eingebettet sind, in den Modul hineinragen und dort vom Membransystem 3 umfaßt werden. An den Stirnseiten vorhandene Anschlußkappen erfassen durch getrennte Ringkammern mit Anschlußstutzen die beiden Bereiche der stirnseitigen Einbettungen separat. Somit befinden sich auf jeder Stirnseite zusätzlich der Zu- und Abfluß eines axial durchströmten Membransystems 2a bzw. 2b.

In den **Fig. 6** und **7** ist die Kombination eines Flachmembransystems mit einem Kapillarmembransystem dargestellt. Das Flachmembransystem 3 ist an einen zentralen Verteiler 5 angeschlossen und um ihn aufgewickelt. Die Flachmembran weist etwa mittig einen in Wicklungsrichtung verlaufenden Trennsteg 8 auf. Das Zentralrohr 5 ist auf der Höhe des Trennsteges 8 mit einer Trennwand 13 in einen Zu- und einen Abstromabschnitt unterteilt. Das Fluid fließt durch Bohrungen 9 zunächst in Wicklungsrichtung in die eine Hälfte der Flachmembran, dann um den nicht bis an das Ende der Flachmembran geführten Trennsteg 8 herum in die andere Flachmembranhälfte, dort von außen nach innen zurück und durch weitere Bohrungen 9 in den Abströmbereich des Zentralrohrs 5.

Das aufgewickelte Flachmembransystem nimmt zwischen den Wickellagen axial verlaufende und stirnseitig eingebettete Kapillaren eines Kapillarmembransystems 2 auf. Die Kapillarströmung ist im wesentlichen senkrecht zur Strömung in der Flachmembran gerichtet.

Zwischen den Stirnseiten des aufgewickelten Flachmembransystems und den Einbettungen für die Kapillarmembranen ist ein Spalt vorhanden. Das durch das Gehäuse 1 strömende Fluid nimmt seinen Weg vom

Zulaufstutzen 7 über den ersten Spalt in die Freiräume zwischen den Wickellagen und von dort über den anderen Spalt zum symmetrisch angeordneten Ablaustutzen. Es strömt axial durch den Modul und senkrecht zur Strömungsrichtung im System 3.

Die Ausführung gemäß **Fig. 8** unterscheidet sich von der nach **Fig. 7** dadurch, daß das Flachmembransystem 3 auf beiden Stirnseiten dicht eingebettet ist und dadurch einen zusätzlichen spiralförmigen Kanal 11 bildet. Neben den Zu- und Abströmanschlüssen 6 für die innere Durchströmung des Flachmembransystems 3 ist ein weiterer Anschluß 12 vorhanden. Er ist über Bohrungen 10 mit dem spiralförmigen Kanal 11 verbunden, der vom Flachmembransystem 3 und den stirnseitigen Einbettungen begrenzt und von dem Kapillarmembransystem 2 durchzogen ist.

Ein erstes Fluid kann über die Anschlußstutzen 6 und die Bohrungen 9 des zentralen Verteilers 5 das Flachmembransystem 3 entlang der Wicklung durchströmen. Ein zweites Fluid passiert das Kapillarmembransystem 2 von einer Stirnseite zur anderen. Ein drittes Fluid strömt über den Anschluß 12 des zentralen Verteilers 5 und dessen Bohrungen 10 in den spiralförmigen Kanal 11, weiter zum Gehäuseanschluß 7. Die im Kanal liegenden Kapillarmembranen werden senkrecht angeströmt, der spiralförmige Kanal 11 führt zu einer erhöhten Strömungsgeschwindigkeit des dritten Fluids gegenüber einer einfachen radialen Strömung, so daß der Stoffaustausch verbessert wird.

In **Fig. 9** erstrecken sich die U-förmigen Kapillaren 3 entlang einer wenigstens einmal gefalteten und danach um ein Zentralrohr 5 mit Längssteg 14 gewickelten Bahn 15. In die Bahn 15 sind axial verlaufende Kapillaren 2 eingebunden. Die Enden der U-förmigen Kapillaren 3 jeweils einer Stirnseite der Bahn 15 sind im Zentralrohr 5 zu Anschlüssen 4 bzw. 6 zusammengefäßt. In der Ausführung nach **Fig. 9** laufen die Enden der U-förmigen Kapillaren 3 analog zu denen in **Fig. 3** in die Stirnseiten des Zentralrohrs 5 ein. Ebenso ist es möglich, die Enden der U-förmigen Kapillaren 3 jeder Stirnseite der Bahn 15 in jeweils einem Rohr einzufassen und beide Rohre zu einem Zentralrohr 5 zu montieren. Die Einbindung könnte analog zu der in **Fig. 5** erfolgen, allerdings hätten die Rohre keinen Trennsteg 13, sondern wären an jeweils einer Stirnseite geschlossen.

In den **Fig. 10** und **12** sind in den Flachmembranen mehrere Trennstegs angeordnet, und zwar so, daß sich jeweils mäanderförmige Strombahnen für das Fluid ergeben.

In **Fig. 10** erstrecken sich die Trennstegs 8a entlang der Wicklung. Entsprechend fließt das Fluid überwiegend in gleicher Richtung. In **Fig. 12** sind die Trennstegs 8b parallel zur Achse des Zentralrohrs 5 zwischen dem einen Wickelrand und einem Trennsteg 8c angeordnet. Der eine Trennsteg 8c liegt mit kurzem Abstand parallel zum anderen Wickelrand und reicht fast bis an das Wickelende.

Die Anordnung der Trennstegs und auch jeweils zweier Trennwände 13 im Zentralrohr 5 erfolgte so, daß eine zwangsläufige Strömung mit nur geringen Toträumen entsteht.

In **Fig. 11** ist zu erkennen, daß die Trennstegs 8a als Sicken in die Membranen eingearbeitet sind. Dadurch wird eine sehr produktive Herstellung der Flachmembranen erreicht.

## Patentansprüche

1. Membranmodul, der aus mindestens zwei aneinander anliegenden, sich kreuzenden Bahnen durchströmter und umströmter Membransysteme gewickelt ist, gekennzeichnet dadurch, daß wenigstens eine Bahn einem überwiegend axial und wenigstens eine Bahn einem überwiegend entlang der Wicklung durchströmten bzw. umströmten Membransystem (2, 3) mit voneinander getrennten Anschlüssen (4, 6) angehört und wenigstens eine Bahn aus etwa U-förmig verlaufenden Kapillaren gebildet ist. 5
2. Membranmodul nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, daß die etwa U-förmig verlaufenden Kapillaren (3) radial an ein Zentralrohr (5) mit einer den Fluidstrom durch das Zentralrohr sperrenden Trennwand angeschlossen sind und der Anfang jeder U-förmigen Kapillare (in der Achse des Zentralrohrs gesehen) vor sowie ihr Ende hinter der Trennwand liegen. 15
3. Membranmodul nach Anspruch 2, gekennzeichnet dadurch, daß das Zentralrohr (5) zwischen seinen Enden und der Trennwand axial verlaufende schlitzförmige Aussparungen aufweist und die etwa U-förmig verlaufenden Kapillaren jeweils wenigstens eine Schleife bilden, deren Enden von den Aussparungen her in die Enden des Zentralrohrs (5) einlaufen. 20
4. Membranmodul nach Anspruch 3, gekennzeichnet dadurch, daß jede Kapillare zwischen ihren Einbindungen in das Zentralrohr (5) mehrere axial in derselben Wickelebene nebeneinander liegende Schleifen bildet. 30
5. Membranmodul nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, daß die Enden der etwa U-förmig verlaufenden Kapillaren auf ein und derselben Stirnseite mit getrennten Anschlüssen eingebettet sind und die Schenkel der U-förmigen Kapillaren sich axial erstrecken. 35
6. Membranmodul nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, daß sich die U-förmigen Kapillaren (3) entlang einer wenigstens einmal gefalteten und danach um ein Zentralrohr (5) gewickelten Bahn (15) erstrecken, in die Bahn (15) axial verlaufende Kapillaren (2) eingebunden sind und die Enden der U-förmigen Kapillaren (3) jeweils einer Stirnseite der Bahn (15) im Zentralrohr (5) zu Anschlüssen (4 bzw. 6) zusammengefäßt sind. 40
7. Membranmodul nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, daß das in der Wicklung durchströmte Membransystem (3) ein Flachmembransystem mit wenigstens einem die Fluidströmung innerhalb der Flachmembran umlenkenden Trennsteg (8) ist. 50
8. Membranmodul nach Anspruch 7, gekennzeichnet dadurch, daß in der Flachmembran mehrere etwa parallel in Wicklungsrichtung liegende, vorzugsweise als Sicken gearbeitete Trennsteg (8a) vorgesehen sind, die abwechselnd dicht am Zentralrohr mit freiem Abstand zum Wickelende und dicht am Wickelende mit Abstand zum Zentralrohr (5) anschließen. 55
9. Membranmodul nach Anspruch 7, gekennzeichnet dadurch, daß in der Flachmembran mehrere etwa parallel zur Achse des Zentralrohrs (5) liegende, vorzugsweise als Sicken gearbeitete Trennsteg (8b) und ein mit kurzem Abstand parallel zu einer Wickelstirnseite verlaufender Trennsteg (8c) vorgesehen sind, wobei die zueinander parallelen 60
- 65

Trennsteg abwechselnd dicht an der einen Stirnseite des Wickels mit freiem Abstand zu dem in Wicklungsrichtung verlaufenden Trennsteg und umgekehrt anschließen und der in Wickelrichtung verlaufende Trennsteg dicht am Zentralrohr mit Abstand zum Wickelende anschließt.

10. Membranmodul nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, daß die Materialien der Membransysteme (2 und 3) unterschiedliche Eigenschaften aufweisen.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1

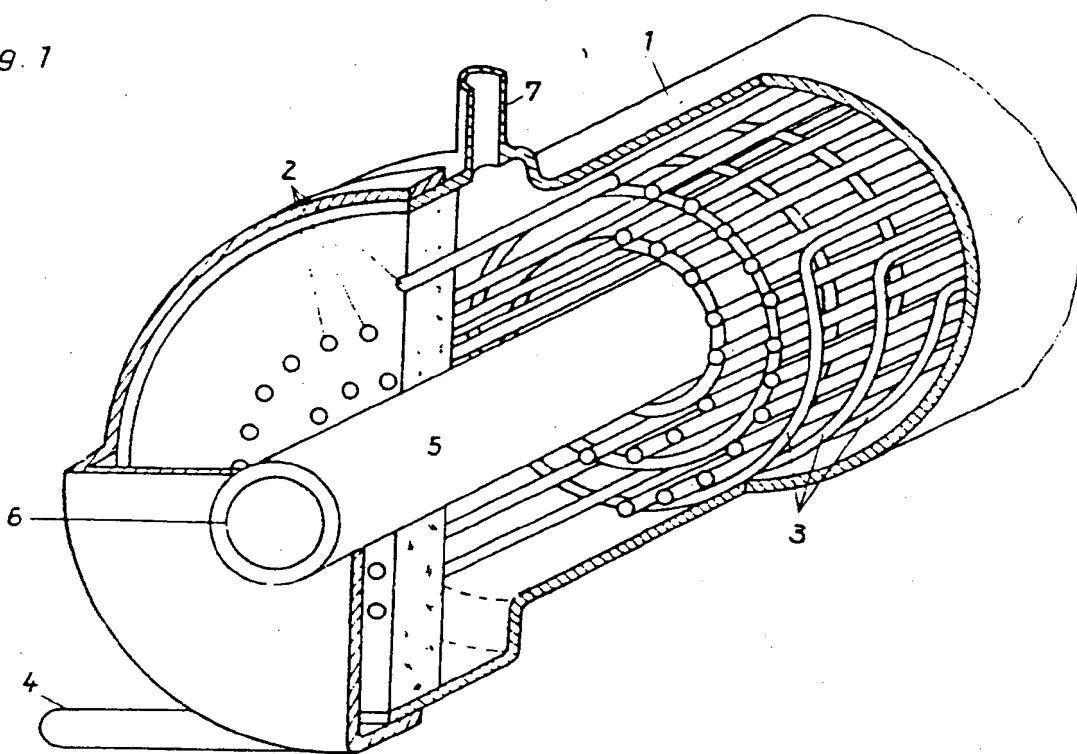
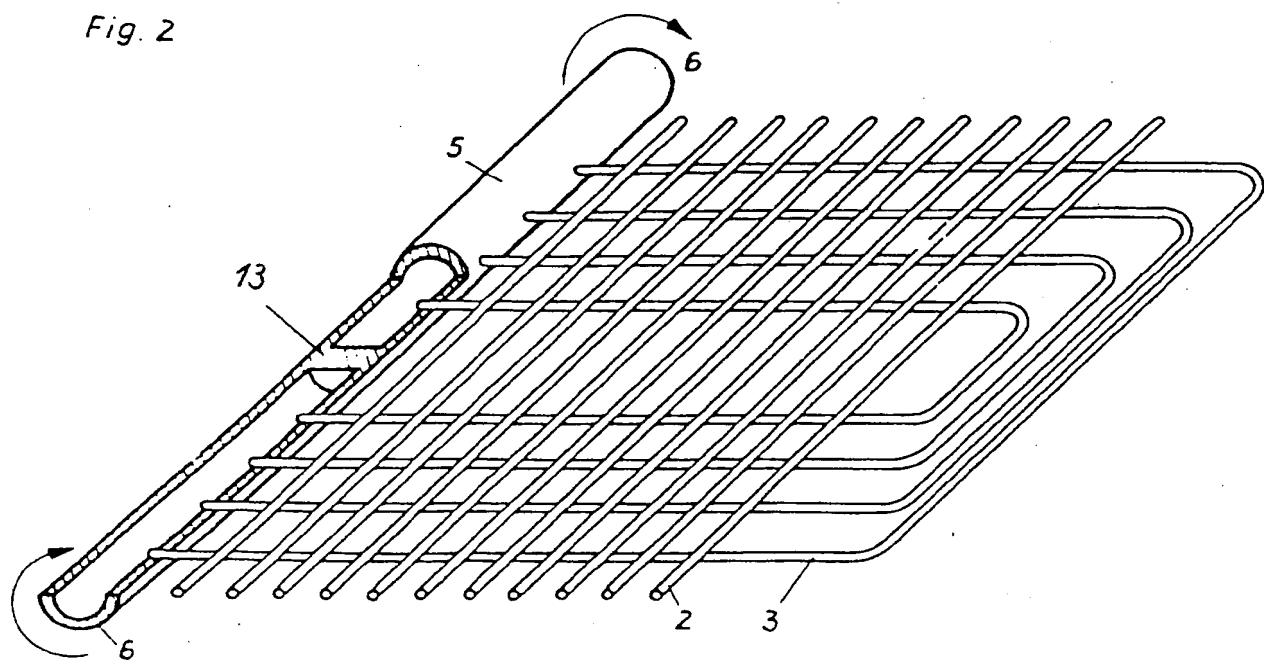


Fig. 2



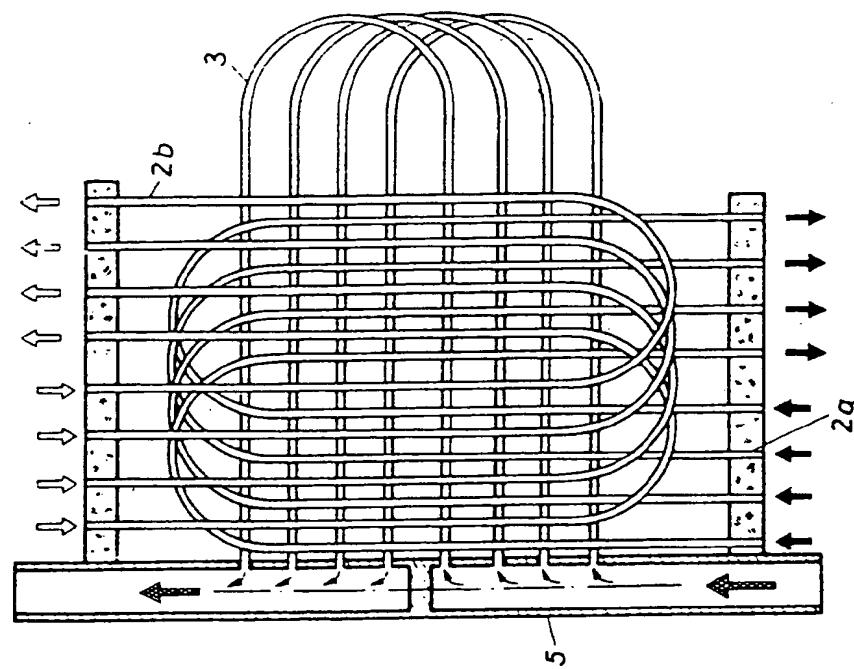


Fig. 5

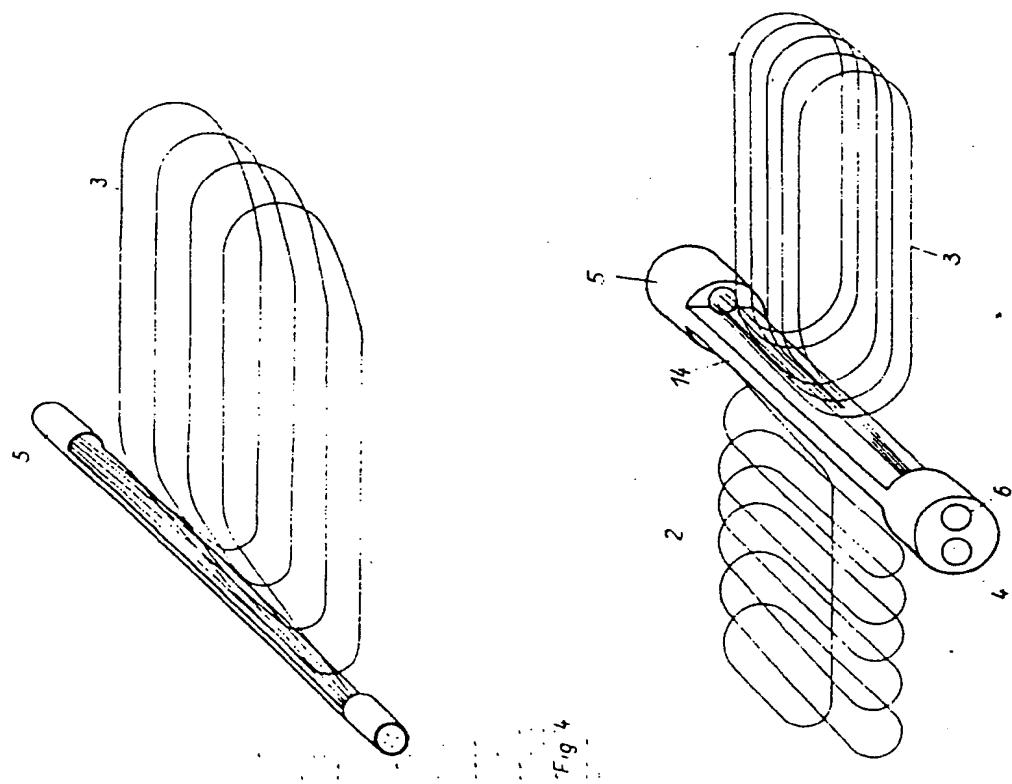


Fig. 3

Fig. 4

208 062/516

Fig. 6

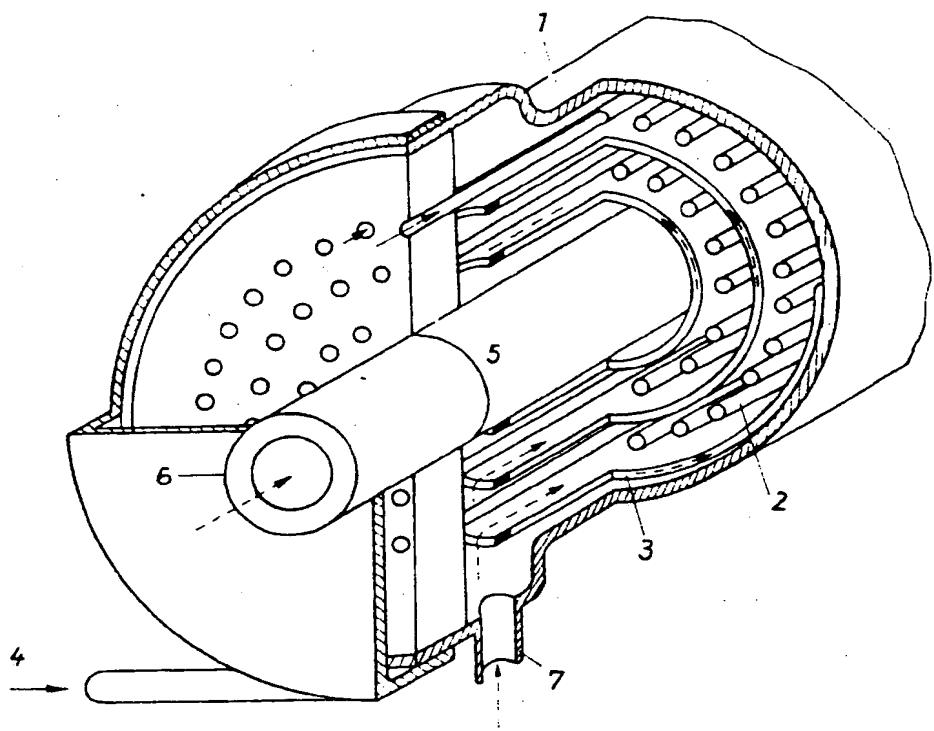


Fig. 7

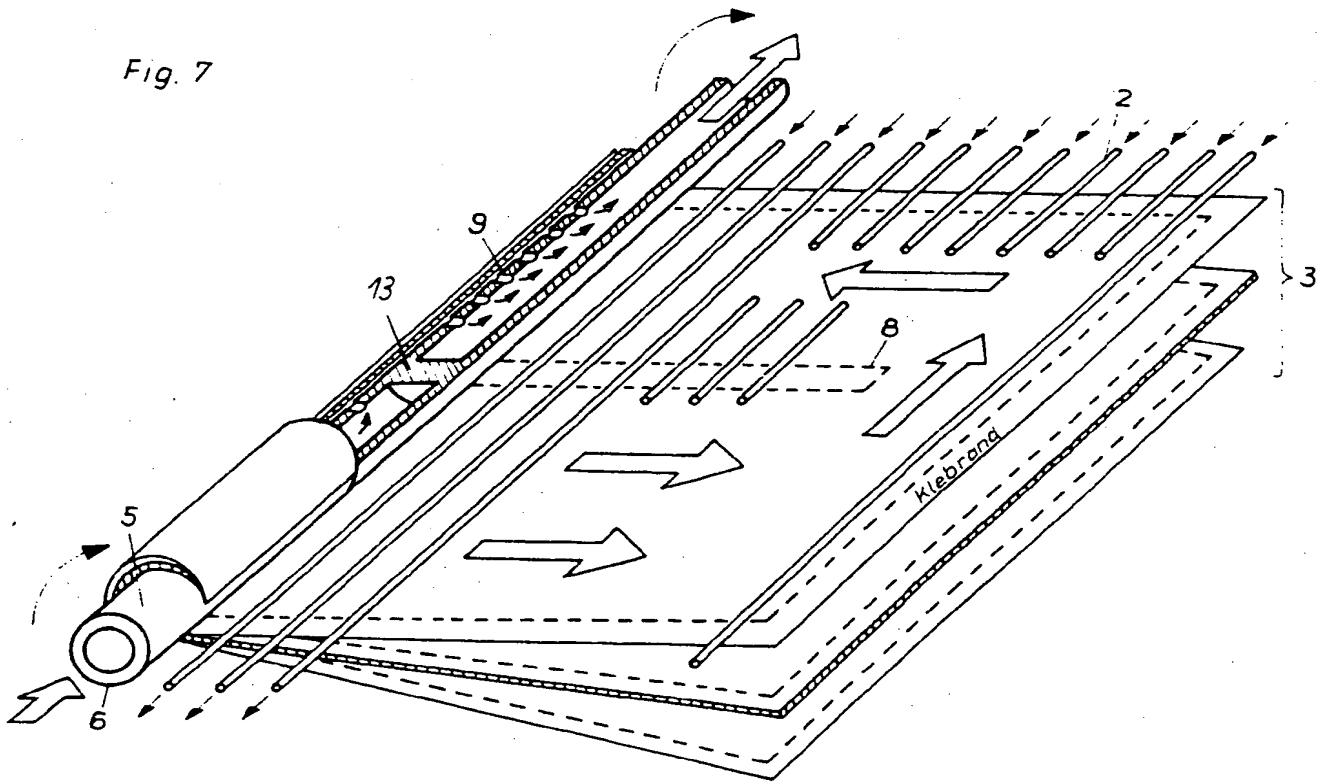


Fig. 8

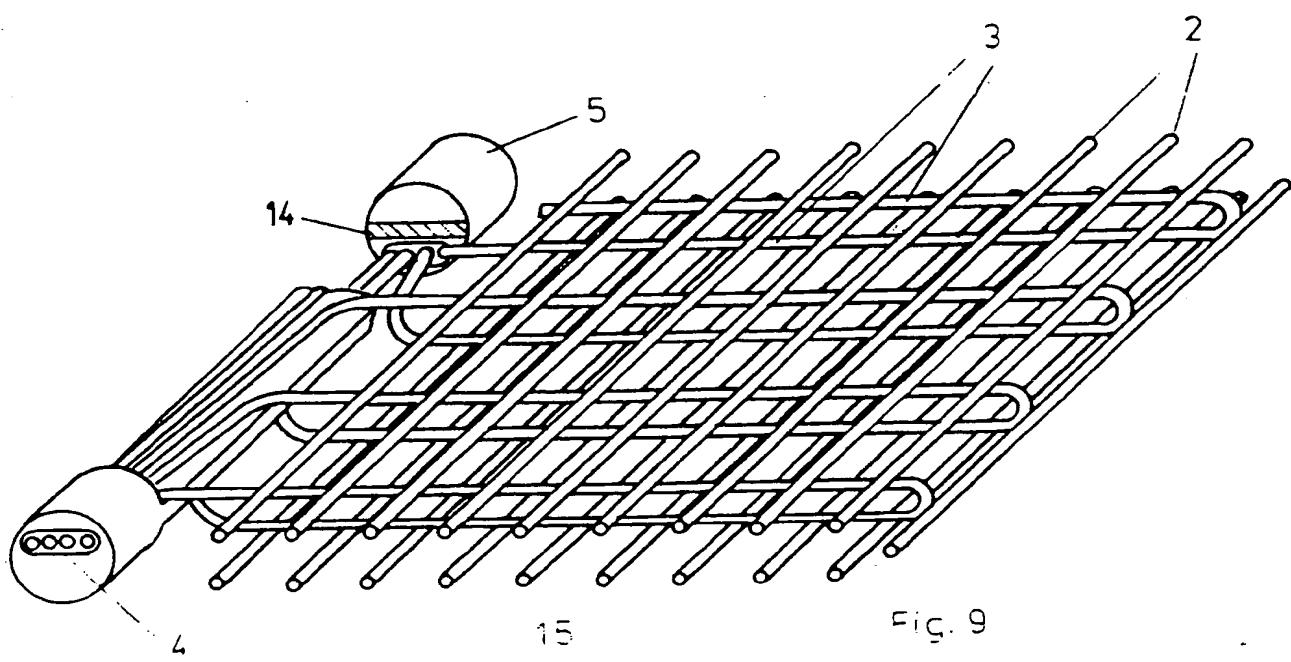
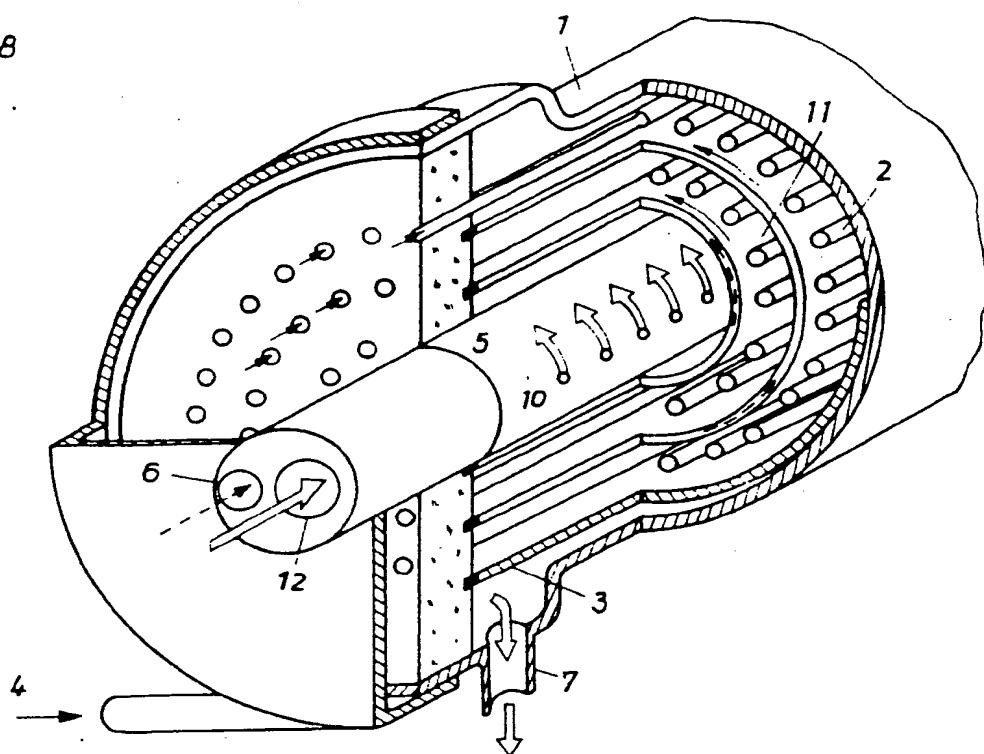


Fig. 9

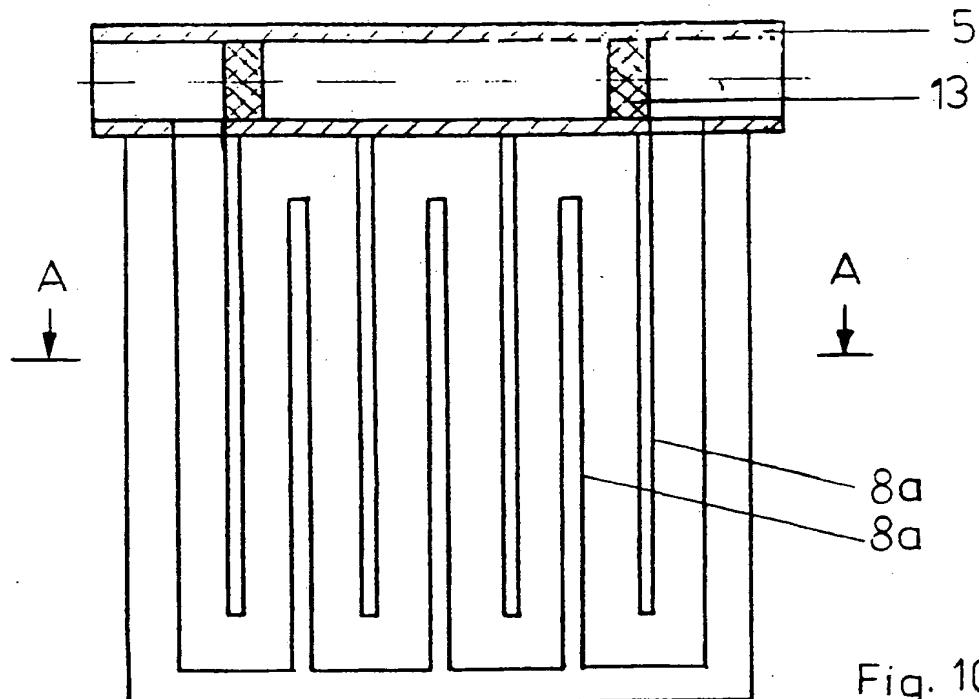


Fig. 10

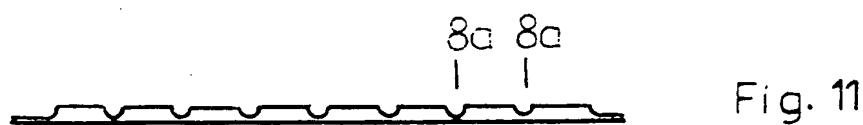


Fig. 11

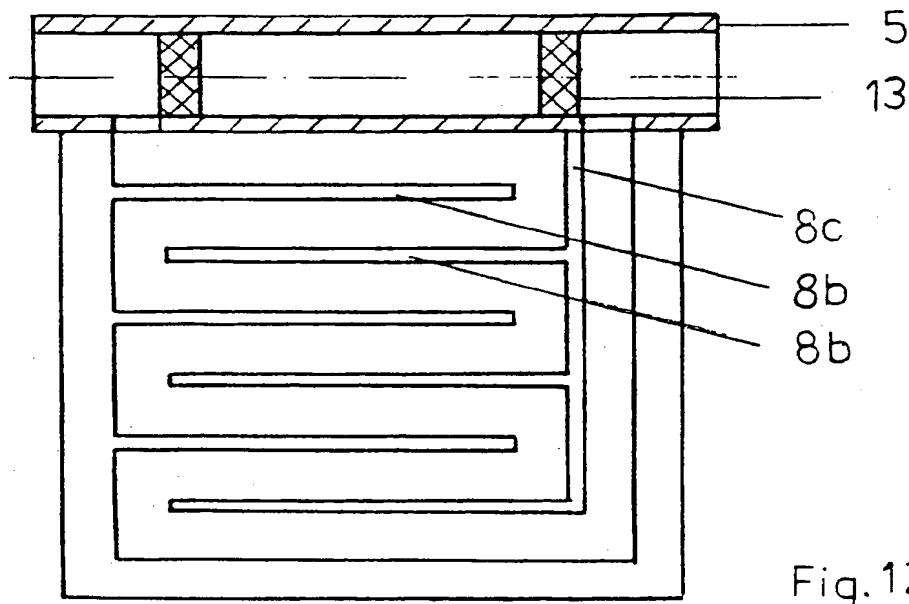


Fig. 12